

長期振動モニタリングから見られた吊橋主塔の自励的風振動とその特徴

古宇田 剛史

指導教員 藤野陽三 教授

1. はじめに

北海道室蘭市に位置する白鳥大橋(1998年完成)では、開通当初から常時、風・地震による振動モニタリングが行われてきた。そのデータを解析した。橋軸直角方向の風に対して、主塔面外方向にはバフティング振動が生じるのに対し、主塔面内方向にはある風速・風向条件の下で自励的と思われる極めて調和的な振動が生じていることが明らかとなった。

本稿では、モニタリングデータから塔面内方向振動の特徴を調べるとともに、そのメカニズムを明らかにするために風洞実験の結果を記述する。



図1 白鳥大橋

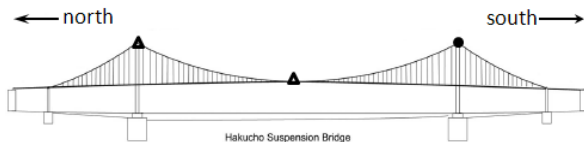


図2 センサー位置(○:加速度計, △:超音波風速計)

2. 主塔振動の様子

モニタリング期間の風の特徴は、風速 30m/s 以下で、南北方向に橋軸をもつ白鳥大橋に対して西側から吹きつけるものであった。

南側主塔の塔面外振動について、風速と加速度の関係を調べると、風速とともに加速度も増加し、放物線に近似されるバフティング振動が生じていた。振動の波形はすべてランダムな波形であった。

一方で、塔面内方向振動を見てみると、風速 13m/s 以下や 24m/s 以上では面外方向と同様、バフティング振動が生じているが、風速 13~24m/s の範囲で、バフティング振動の傾向から外れて大きな振動が現れていた。これは自励振動の影響であると考えられる。この風速域の振動はきれいな調和振動であり、0.6Hz や 0.8Hz の周波数が卓越していた。

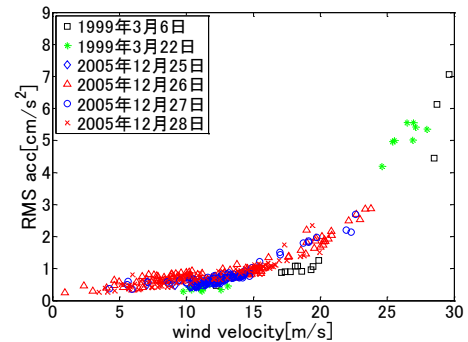


図3 風速と塔面外方向振動の関係

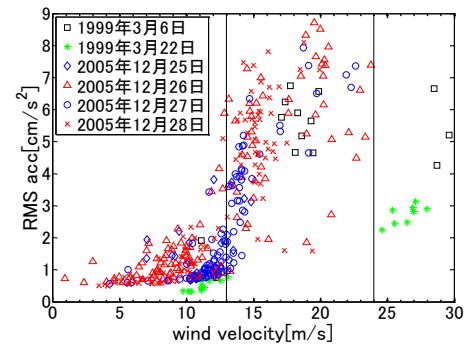


図4 風速と塔面内方向振動の関係

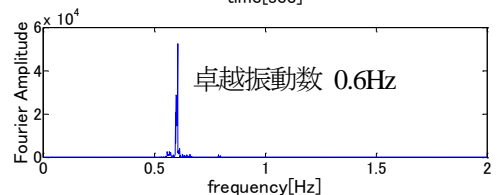
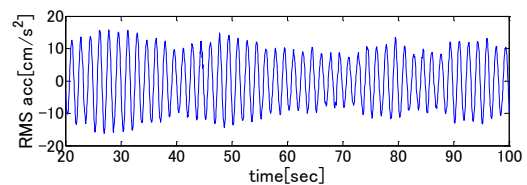


図5 塔面内方向の振動(風速 13~24m/s)

続いて、卓越振動数(0.6Hz と 0.8Hz)の風速依存性を見てみると、調和振動が現れる風速 13~24m/s の中でも比較的遅い 13~17m/s では 0.6Hz が卓越し、17~24m/s では 0.8Hz が卓越することが分かった。また、風向依存性を見てみると、橋軸直角方向より北からの風に対しては 0.6Hz が卓越し、0.8Hz は橋軸直角方向より南側からの風に対して卓越することが分かった。これらの卓越振動数の違いを説明するのに、振動の固

有モードを調べると、0.6Hzでは南北の両主塔は同位相モードであり、0.8Hzでは逆位相モードであることが分かった。また、桁中央部の振動は0.6Hzのときは振幅が大きいのにに対し、0.8Hzでは小さくなっていることが分かる。これは、白鳥大橋でのモニタリングデータとも合致した。

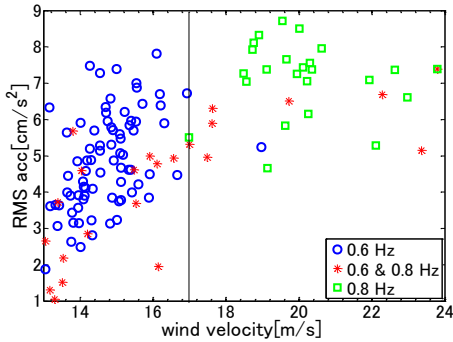


図6 卓越振動数の風速依存性

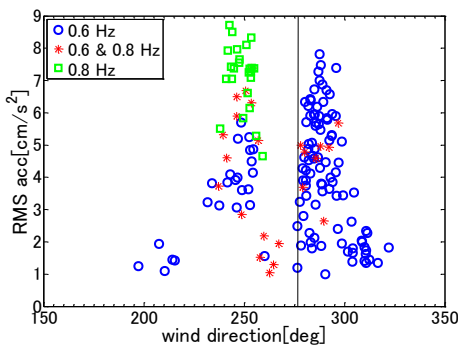


図7 卓越振動数の風向依存性

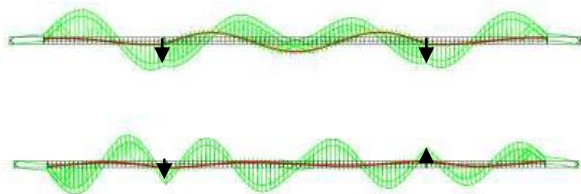


図8 吊橋主塔卓越の面外振動の固有モード図
(上:0.6Hz, 下:0.8Hz)

3. 風洞実験

実験は東京大学風工学実験室の境界層風洞(風洞断面は幅1.5m×高さ1.8m)で実施した。主塔模型は実橋梁の1/20スケールの剛体模型を用いた。気流の計測は熱線風速計を用い、出力は500Hzのローパスフィルターを通し、1kHzにてAD変換を行った。計測時間は60秒、サンプリング周波数は20Hzとした。

計測の結果、測定点AとCでは卓越振動数のない気流の風速波形であったが、B点では風向 $10^{\circ} \sim 45^{\circ}$ の

範囲でひとつの卓越振動数が現れた。

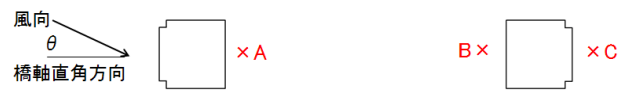


図9 模型の模式図と測定点(A~C)

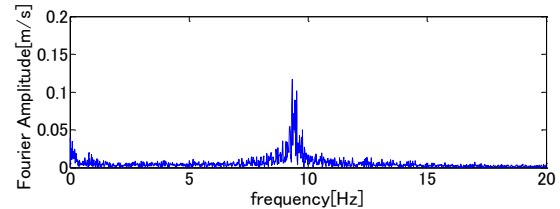


図10 B点の風速のスペクトル特性(風速13m/s)

測定点Bにおいて、風速と卓越振動数の関係を調べると、卓越振動数は風速ともに増加し、その間には高い線形相関があることが明らかとなった。この線形関係からストローハル数を求めると、 $St=0.136$ となる。これより、実橋梁で調和振動が生じる時の実風速を計算すると、0.6Hzの振動数が卓越する風速の計算値は約16m/s、0.8Hzでは21m/sで卓越する結果が得られる。これは、モニタリングによる振動発生風速域と合致している。

上流側模型1体で同じ計測を行ったところ、2体で卓越振動数の生じた測定点でスペクトルは小さいものの同じ卓越振動数が生じた。このことから、卓越振動数は上流側塔による渦が上下流主塔の位置関係で増幅したものであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、以下のような結論を得た。

- 1) 特定の風速・風向条件では、塔面内方向のきれいな調和振動が生じ、卓越振動数は0.6Hzと0.8Hzの2種類存在した。
- 2) 卓越振動数の違いは、両主塔の同位相・逆位相モードで説明され、桁中央部の振動データとも合致する。
- 3) 調和振動のメカニズムは、上流側塔による渦が下流側塔との間で増幅することによるものであると推定される。

参考文献

- 1) 日本風工学会編集, 風工学ハンドブック, 2007年4月, pp136~139